

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **07218689 A**

(43) Date of publication of application: **18.08.95**

(51) Int. Cl. **G21D 3/08**  
**G21D 1/00**

(21) Application number: **06012569**

(22) Date of filing: **04.02.94**

(71) Applicant: **HITACHI LTD**

(72) Inventor:  
**YAMANE KOICHI**  
**AKAMINE KAZUHIKO**  
**ASAKURA YAMATO**  
**OSUMI KATSUMI**  
**HATTORI SHIGEO**  
**ANDO MASASHI**

(54) **OPERATION METHOD OF BOILING WATER  
REACTOR POWER PLANT AND BOILING WATER  
REACTOR POWER PLANT**

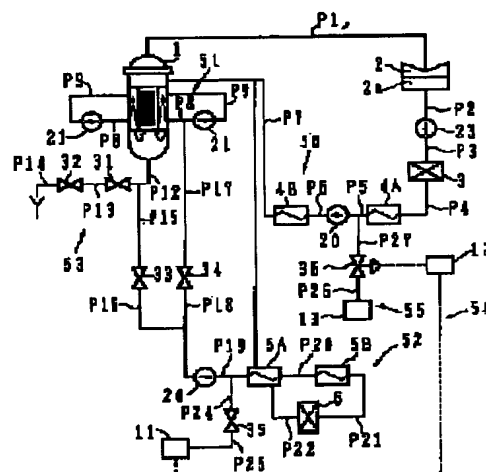
a specified range.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO

(57) Abstract:

**PURPOSE:** To exactly control the effective oxygen concentration at reactor bottom by using the conventional sampling line with easy maintenance of monitor reliability and component in the process of suppressing SCC(stress corrosion cracking) of reactor bottom material by hydrogen injection.

**CONSTITUTION:** The correlation between the effective oxygen concentration in reactor recirculation system and that in the reactor bottom is developed in advance and it is set in a controller 12. When the effective oxygen concentration in reactor recirculation system 51 is measured with an oxygen monitor 11 and its signal is input to the controller 12, the controller 12 calculates the effective oxygen concentration in the reactor bottom based on the correlation and controls the opening of a control valve 36 to control the injection hydrogen amount from a hydrogen injection equipment 55 to a water supply system 50. By this, the effective oxygen concentration in the reactor bottom is controlled within





(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-218689

(43) 公開日 平成7年(1995)8月18日

(51) IntCl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 2 1 D 3/08	G D B X	9117-2G		
1/00	G D B	9117-2G	G 2 1 D 1/00	G D B X

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平6-12569

(22) 出願日 平成6年(1994)2月4日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 山根 康一

茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会社日立製作所日立工場内

(72) 発明者 赤嶺 和彦

茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会社日立製作所日立工場内

(72) 発明者 朝倉 大和

茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会社日立製作所日立工場内

(74) 代理人 弁理士 春日 譲

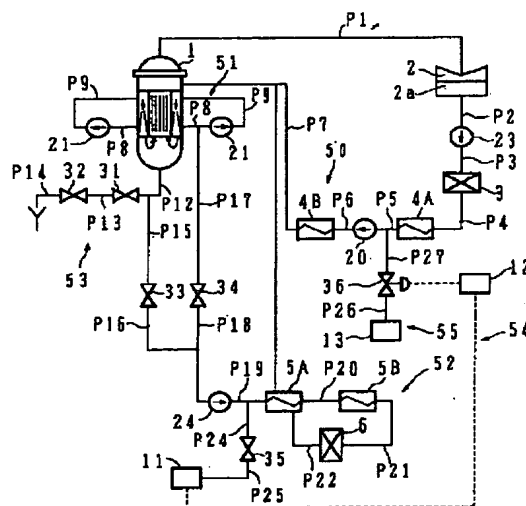
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 沸騰水型原子力発電プラントの運転方法及び沸騰水型原子力発電プラント

(57) 【要約】

【目的】 水素の注入により原子炉底部材料のSCCを抑制するに際して、モニターの信頼性維持及び機器のメンテナンスの容易な従来通りのサンプリングラインを用いて炉底部の実効酸素濃度を正確に制御できるようにする。

【構成】 原子炉再循環系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を予め求め、制御装置12に設定しておく。酸素モニター11で原子炉再循環系51の実効酸素濃度を測定し、その信号が制御装置12に入力されると、制御装置12はその相関に基づいて原子炉底部の実効酸素濃度を算出し、制御弁36の開度を制御して水素注入設備55から給水系50へ注入する水素量を調整する。これにより、原子炉底部の実効酸素濃度は所定の範囲内となるように制御される。



- |                         |                 |
|-------------------------|-----------------|
| 1: 原子炉                  | 13: 水素供給源       |
| 2: タービン                 | 50: 給水系         |
| 3: 循環水浄化装置              | 51: 原子炉再循環系     |
| 4A, 4B: 給水加熱器           | 52: 原子炉冷却系      |
| 5A, 5B: 浄水系加熱器          | 53: 原子炉ボトムドレイン系 |
| 6: 減速脱気器                | 54: 水素注入系       |
| 11: O <sub>2</sub> モニター | 55: 水素注入設備      |
| 12: 制御装置                |                 |

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 水素を注入することにより原子炉水中の溶存酸素濃度を低減するように水質を制御する沸騰水型原子力発電プラントの運転方法において、

原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の酸素濃度と過酸化水素濃度とで定義される実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を予め求めること、

原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度を測定すること、

前記原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度の測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を求めること、

前記原子炉底部の実効酸素濃度が所定の範囲内となるよう水素の注入量を制御することを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの運転方法。

【請求項2】 水素を注入することにより原子炉水中の溶存酸素濃度を低減するように水質を制御する沸騰水型原子力発電プラントの運転方法において、

給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を予め求めること、

給水系の水素濃度を測定すること、

給水系の水素濃度の測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を求めること、

前記原子炉底部の実効酸素濃度が所定の範囲内となるよう水素の注入量を制御することを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの運転方法。

【請求項3】 請求項1または2記載の沸騰水型原子力発電プラントの運転方法において、前記水素を給水系に注入することを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの運転方法。

【請求項4】 請求項1または2記載の沸騰水型原子力発電プラントの運転方法において、前記原子炉底部の実効酸素濃度が5ppb～50ppbの範囲内になるように水素を注入することを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの運転方法。

【請求項5】 請求項1または2記載の沸騰水型原子力発電プラントの運転方法において、前記原子炉底部の実効酸素濃度が15ppb～50ppbの範囲内になるように水素を注入することを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの運転方法。

【請求項6】 請求項1または2記載の沸騰水型原子力発電プラントの運転方法において、前記原子炉底部の実効酸素濃度が5ppb～15ppbの範囲内になるように水素を注入することを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの運転方法。

【請求項7】 請求項1、2または6記載の沸騰水型原子力発電プラントの運転方法において、前記水素の注入による水質の制御と同時に炉水に接する炭素鋼材料の腐食量を経時的に監視することを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの運転方法。

【請求項8】 請求項1記載の沸騰水型原子力発電プラントの運転方法において、前記原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関は、予め試験により給排水素濃度を段階的に変化させることにより求めておくことを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの運転方法。

【請求項9】 請求項1記載の沸騰水型原子力発電プラントの運転方法において、前記原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関は、予め解析により求めておくことを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの運転方法。

【請求項10】 請求項2記載の沸騰水型原子力発電プラントの運転方法において、前記給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関は、予め試験により給排水素濃度を段階的に変化させることにより求めておくことを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの運転方法。

【請求項11】 請求項2記載の沸騰水型原子力発電プラントの運転方法において、前記給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関は、予め解析により求めておくことを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの運転方法。

【請求項12】 請求項1または2記載の沸騰水型原子力発電プラントの運転方法において、前記実効酸素濃度は、

$$[O_2]_{eff} = [O_2] + 1/2 [H_2O_2]$$

ただし  $[O_2]_{eff}$  : 実効酸素濃度

$[O_2]$  : 酸素濃度

$[H_2O_2]$  : 過酸化水素濃度

で定義されることを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの運転方法。

【請求項13】 水素を注入することにより原子炉水中の溶存酸素濃度を低減するように水質を制御する沸騰水型原子力発電プラントにおいて、

給水系に水素を注入する水素注入装置と、

原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の酸素濃度と過酸化水素濃度とで定義される実効酸素濃度を測定する酸素モニターと、

原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関に基づいて、前記酸素モニターによる原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度の測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を演算し、その演算で求められた原子炉底部の実効酸素濃度が所定の範囲内となるよう前記水素注入装置を制御する制御装置とを備えることを特徴とする沸騰水型原子力発電プラント。

【請求項14】 水素を注入することにより原子炉水中の溶存酸素濃度を低減するように水質を制御する沸騰水型原子力発電プラントにおいて、

給水系に水素を注入する水素注入装置と、

給水系の水素濃度を測定する水素モニターと、給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関に基づいて、前記水素モニターによる給水系の水素濃度の測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を演算し、その演算で求められた原子炉底部の実効酸素濃度が所定の範囲内となるよう前記水素注入装置を制御する制御装置とを備えることを特徴とする沸騰水型原子力発電プラント。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は沸騰水型原子力発電プラントおよび運転方法に係り、特に制御棒駆動機構（CRD）ハウジングや炉内計装管（ICM）ハウジングなどのように原子炉底部領域に設けられた構造物材料（ステンレス材）の応力腐食割れ（SCC）亀裂進展遅延、及び原子炉冷却材浄化系等の炉廻りの炭素鋼材料の減肉を抑制するのに好適な水素注入を制御する沸騰水型原子力発電プラントおよび運転方法に関する。

【0002】

【従来の技術】一般に沸騰水型原子力発電プラントの炉内では水の放射性分解により酸素分子と水素分子が生じ、原子炉底部における酸素濃度と過酸化水素濃度とで定義される実効酸素濃度が運転中に原子炉再循環系で約200ppbにまで上昇する。この実効酸素濃度が高いとステンレス材の応力腐食割れ（SCC）に影響し、その感受性を高めるということが知られている。このため、特公昭63-19838号公報に記載のように、一次冷却水の腐食電位、溶存酸素及び溶存水素を測定し、この各測定値に従い水素注入量を制御することにより水の放射性分解を抑制し、炉水の溶存酸素濃度を低減することが考えられている。この場合、その公知例に示されるように一次冷却水の測定は原子炉再循環系や給水系などにサンプリングラインを設けて行なうのが一般的である。

【0003】また、特開平3-85495号公報に記載のように、原子力発電プラントにおいて、原子炉底部に設けたボトムドレインラインにサンプリングラインを接続し、このサンプリングラインを介して原子炉底部の水質を腐食環境モニターを用いて直接測定し、水素注入量を制御するものがある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来技術には次のような問題がある。特公昭63-19838号公報に記載の従来技術では、上記のように原子炉水を原子炉再循環系に設けた溶存酸素濃度測定装置の測定結果に基づいて給水系の水素注入量を制御している。しかしながら、原子炉底部の水質が原子炉再循環系の水質と多少異なり、原子炉再循環系の溶存酸素濃度を制御しても原子炉底部の溶存酸素濃度を正確には制御できない。このため、CRDハウジングやICMハウジングな

どのように原子炉底部に設けられた構造物材料のSCCの抑制が適切とはいえなかった。また、ステンレス材のSCCの進展を遅延させるには炉水の溶存酸素濃度を低減すればよいが、原子炉底部に接続された配管や原子炉冷却材浄化系の配管機器には炭素鋼材料を使用しているプラントの場合、溶存酸素濃度が下がりすぎると炭素鋼の腐食が促進する。このため原子炉底部の溶存酸素濃度を正確に制御できないとその溶存酸素濃度が下がりすぎ、炭素鋼材料の腐食が促進される懸念もあった。

10 【0005】また、特開平3-85495号公報記載の従来技術では、圧力容器ボトムドレインラインの水質を測定しながら給水系の水素注入量を制御している。しかし、炉底部のボトムドレインにサンプリングラインを設けることは沈降性クラッドによる配管内の閉塞や線量率の上昇等の心配があり、モニターの信頼性維持及び機器のメンテナンスに困難が予想され、長期間の使用には適している。長期的なモニタリングの方法としては従来通りの再循環系、給水系などにサンプリングラインを設けることが望ましい。

20 【0006】本発明の目的は、水素の注入により原子炉底部材料のSCCを抑制するに際して、モニターの信頼性維持及び機器のメンテナンスの容易な従来通りのサンプリングラインを用いて炉底部の実効酸素濃度を正確に制御することのできる沸騰水型原子力発電プラントの運転方法及び沸騰水型原子力発電プラントを提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の概念による沸騰水型発電プラントの運転方法は、上記目的を達成するために次の構成を採用する。すなわち、水素を注入することにより原子炉水中の溶存酸素濃度を低減するよう

30 水質を制御する沸騰水型原子力発電プラントの運転方法において、原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の酸素濃度と過酸化水素濃度とで定義される実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を予め求めること、原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度を測定すること、原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度の測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を求めること、前記原子炉底部の実効酸素濃度が所定の範囲内となるよう水素の注入量を制御することの各手順を有するものである。

40 【0008】また、本発明の第2の概念による沸騰水型発電プラントの運転方法は、上記目的を達成するために次の構成を採用する。すなわち、水素を注入することにより原子炉水中の溶存酸素濃度を低減するよう水質を制御する沸騰水型原子力発電プラントの運転方法において、給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を予め求めること、給水系の水素濃度を測定すること、給水系の水素濃度の測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を求めること、前記原子炉底部の実効酸素濃度が

所定の範囲内となるよう水素の注入量を制御することの各手順を有するものである。

【0009】上記第1及び第2の概念による沸騰水型原子力発電プラントの運転方法において、好ましくは、前記水素を給水系に注入する。また、好ましくは、前記原子炉底部の実効酸素濃度が5ppb～50ppbの範囲内に、より好ましくは15ppb～50ppbになるように水素を注入する。さらに好ましくは、前記水素の注入による水質の制御と同時に炉水に接する炭素鋼材料の腐食量を経時的に監視するものであり、この場合実効酸素濃度は5ppb～15ppbの範囲内になるように制御してもよい。

【0010】また、上記第1の概念による沸騰水型発電プラントの運転方法において、前記原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関は、予め試験により給水水素濃度を段階的に変化させることにより求めておいてもよいし、予め解析により求めておいてもよい。

【0011】同様に第2の概念による沸騰水型発電プラントの運転方法において、前記給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関は、予め試験により給水水素濃度を段階的に変化させることにより求めておいてもよいし、予め解析により求めておいてもよい。

【0012】さらに、上記第1及び第2の概念による沸騰水型発電プラントの運転方法において、好ましくは、前記実効酸素濃度は、

$$[\text{O}_2]_{\text{eff}} = [\text{O}_2] + 1/2 [\text{H}_2\text{O}_2]$$

ただし  $[\text{O}_2]_{\text{eff}}$  : 実効酸素濃度

$[\text{O}_2]$  : 酸素濃度

$[\text{H}_2\text{O}_2]$  : 過酸化水素濃度

で定義される。

【0013】また、本発明の第1の概念による沸騰水型発電プラントは、上記目的を達成するために次の構成を採用する。すなわち、水素を注入することにより原子炉水中の溶存酸素濃度を低減するように水質を制御する沸騰水型原子力発電プラントにおいて、給水系に水素を注入する水素注入装置と、原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の酸素濃度と過酸化水素濃度とで定義される実効酸素濃度を測定する酸素モニターと、原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関に基づいて、前記酸素モニターによる原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度の測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を演算し、その演算で求められた原子炉底部の実効酸素濃度が所定の範囲内となるよう前記水素注入装置を制御する制御装置とを備える。

【0014】さらに、本発明の第2の概念による沸騰水型発電プラントは、上記目的を達成するために次の構成を採用する。すなわち、水素を注入することにより原子炉水中の溶存酸素濃度を低減するように水質を制御する

沸騰水型原子力発電プラントにおいて、給水系に水素を注入する水素注入装置と、給水系の水素濃度を測定する水素モニターと、給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関に基づいて、前記水素モニターによる給水系の水素濃度の測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を演算し、その演算で求められた原子炉底部の実効酸素濃度が所定の範囲内となるよう前記水素注入装置を制御する制御装置とを備える。

【0015】

10 【作用】本願発明者等による原子炉内の水質の解析評価の結果、原子炉再循環系又は原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度と給水系の水素濃度との間の相関を定量的に把握できることが分かった。本発明はこの知見に基づくものであり、本発明の第1の概念では、原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を予め求めておき、実効酸素濃度の測定はメンテナンスが容易である原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系で行い、前記相関に基づいてその原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の酸素濃度の測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を求め、原子炉底部の実効酸素濃度が所定の範囲内となるよう水素の注入量を制御する。また、本発明の第2の概念では、給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を予め求めておき、水素濃度の測定はやはりメンテナンスの容易な給水系で行い、前記相関に基づいてその給水系の水素濃度の測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を求め、原子炉底部の実効酸素濃度が所定の範囲内となるよう水素の注入量を制御する。

30 【0016】このように相関を用いて水素の注入量を制御することにより、原子炉底部の腐食環境を監視しながら水素注入量を制御することになるので、取替が困難な原子炉底部の機器に対してより正確な水質制御をすることが可能であり、また注入量は必要最小限に制御されることになり、原子炉底部領域の構造物材料のSCC亀裂進展を遅延させかつ原子炉冷却材浄化系等の炉廻りの炭素鋼材料の腐食減肉を抑制することができる。また、サンプリングラインの設置位置は原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系に限定されるので、水質の計測装置のメンテナンス等についても通常運転中に接近が可能な原子炉格納容器外の原子炉建屋内に設置できるため、炉底部からの接続ラインの計測系にくらべて極めて容易である。また、機器の信頼性維持も容易である。

40 【0017】また、実験データより、水素注入によって溶存酸素濃度を50ppb以下に下げると、SCCの亀裂進展速度は通常の1/10程度にまで下がり、実効酸素濃度を15ppb以下に下げると炭素鋼の腐食速度は上昇しはじめ、実効酸素濃度を5ppb以下にまで下げると、炭素鋼の腐食速度は数百m/dmまで上昇することが分かった。

【0018】したがって、炉底部に接続された配管や原子炉冷却材浄化系の配管機器に炭素鋼材料を使用しているプラントの場合、実効酸素濃度の制御範囲を5ppb～50ppb、より好ましくは、 $15\text{ppb} \leq [\text{O}_2]_{\text{eff}} \leq 50\text{ppb}$  とすることにより腐食を抑制または防止することが可能となる。

【0019】また、実効酸素濃度の制御範囲を5ppb～15ppbとした場合には腐食が若干進行するが、炭素鋼材料の肉厚は設計段階で約数mmの腐食代を考慮しているため、炭素鋼材料の腐食量を経時的に監視することにより、運転寿命期間中に腐食代が十分な余裕を持つことを確認しながら対応できると考えられる。

【0020】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を用いて説明する。まず、本発明の第1の実施例による沸騰水型原子力発電プラントの運転方法及び沸騰水型発電プラントを図1から図10を用いて説明する。図1において、本実施例の沸騰水型原子力発電プラントは、原子炉1と、主蒸気管P1と、原子炉1から発生した蒸気が主蒸気管P1を介して送られ発電機を駆動するタービン2と、タービン2下部の復水器2aで回収された復水を原子炉1へと循環させて戻す給水系50と、原子炉1内の炉心を通過した炉水を炉心底部に戻す原子炉再循環系51と、原子炉再循環系51から分岐し炉水を浄化して給水系50に戻す原子炉冷却材浄化系52と、炉水の水抜きを目的とした原子炉ボトムドレイン系53とを備えている。給水系50は、復水ポンプ23と、復水浄化装置3と、給水加熱器4A、4Bと、供給ポンプ20と、それらをつなぐ配管P2～P7とで構成されている。原子炉再循環系51は、再循環ポンプ21と、再循環ポンプ21を原子炉1につなぐ配管P8、P9とで構成されている。原子炉冷却材浄化系52は浄化系ポンプ24と、浄化水加熱器5A、5Bと、濾過脱塩器6と、これらをつなぐ配管P17～P23で構成されている。原子炉ボトムドレイン系53はドレインラインを構成する配管P12～P14及びバルブ31、32とで構成されている。ドレインラインの配管P12からはバルブ33を備えた配管P15、P16が分岐し、配管P16は原子炉冷却材浄化系52に接続され、原子炉冷却水も原子炉冷却材浄化系52により一部浄化が行なわれる。

【0021】また、本実施例のプラントは、上記構成に加え、原子炉底部の水質を制御するための水素注入系54を備えている。この水素注入系54は、原子炉冷却材浄化系52より分岐しサンプリングラインを構成する配管P24、P25及びバルブ35と、このサンプリングラインの末端に設置された $\text{O}_2$ モニター11と、 $\text{O}_2$ モニター11の検出値を用いて原子炉再循環系の酸素濃度 $[\text{O}_2]$ と過酸化水素濃度 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ で定義される実効酸素濃度 $[\text{O}_2]_{\text{eff}}$ の値を原子炉底部の実効酸素濃度に換算する制御装置12と、給水系50に設置された水素

注入設備55とを備えている。水素注入設備55は水素供給源13と、水素供給源13を給水系50につなげる配管P26、P27、及びバルブ36とで構成される水素注入ラインとを有している。バルブ36は制御装置12から出力される電気信号に応じて開度が制御されるものであり、制御装置12は上記換算して求めた原子炉底部での実効酸素濃度に応じてバルブ36の開度を制御するための電気信号を発生する。

【0022】 $\text{O}_2$ モニター11で測定される原子炉水の酸素濃度と過酸化水素濃度とで決定される実効酸素濃度は、過酸化水素濃度 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ の化学量論比を考慮して、以下の式で定義される。

$$[\text{O}_2]_{\text{eff}} = [\text{O}_2] + 1/2 [\text{H}_2\text{O}_2]$$

ただし $[\text{O}_2]_{\text{eff}}$ ：実効酸素濃度

$[\text{O}_2]$ ：酸素濃度

$[\text{H}_2\text{O}_2]$ ：過酸化水素濃度

通常は、 $\text{H}_2\text{O}_2$ はサンプリングラインP24、P25でほぼ完全に分解するため、 $\text{O}_2$ モニター11により

$[\text{O}_2] + 1/2 [\text{H}_2\text{O}_2]$ に相当する溶存酸素濃度を測定することができる。なお、本実施例では原子炉冷却材浄化系52からサンプリングラインを分岐させ実効酸素濃度の測定を行う構成としたが、原子炉再循環系51からサンプリングラインを分岐し、実効酸素濃度を測定する構成としてもよい。

【0023】制御装置12の制御機能の詳細を図2に示すフローチャートを用いて説明する。 $\text{O}_2$ モニター11により原子炉再循環系の実効酸素濃度が測定され、その電気信号が制御装置12に入力されると（ステップ100）、その実効酸素濃度の測定値を図3に示す原子炉再循環系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関に基づいて変換し、原子炉底部の実効酸素濃度を求める（ステップ101）。この原子炉再循環系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関は予め解析又は実験により求めておいたものをメモリーに記憶させたものである。このようにして求めた原子炉底部の実効酸素濃度が5ppb以上かどうかを判断し（ステップ102）、実効酸素濃度が5ppb未満と判断されるとバルブ36の開度を小さくする電気信号を発生し、水素注入設備55から給水系への水素の注入量を減少させる（ステップ103）。

【0024】一方、実効酸素濃度が5ppb以上と判断されると、実効酸素濃度が50ppb以上かどうかを判断し（ステップ104）、実効酸素濃度が50ppb以下と判断されると、バルブ36の開度を保持する電気信号を発生し、水素注入設備55からの水素の注入量を保持する（ステップ105）。

【0025】また、原子炉底部の実効酸素濃度が50ppb以上と判断されると、バルブ36の開度を大きくする電気信号を発生し、水素注入設備55から給水系への水素の注入量を増大させる（ステップ106）。

【0026】バルブ36の開度の制御による水素注入量の制御は水素注入量と水質（実効酸素濃度）の相関を制御装置12に予め入力しておくことにより実施可能である。このようにして本実施例では原子炉底部の実効酸素濃度が5ppb～50ppbの範囲内となるよう制御される。

【0027】次に、本実施例におけるプラント運転方法の考え方及び作用効果を説明する。最近の水放射線分解解析によるモデル計算結果によれば、原子炉内の水質分布は図4に示すように炉内の各領域で大きく異なるのが特徴となっている。また、図5にも示すように、ジェットポンプを有するプラントの評価例では原子炉の底部と他の領域の水質が異なっている。この図5は給水に0.4ppmの水素を注入した場合における原子炉内の水質のモデル解析結果の例を示したものである。モデル解析は反応定数等に一部仮定を含んでいるものの解析結果は実測値に比較的良く一致することが一般に知られている。さらに、原子炉再循環系と原子炉底部の溶存酸素濃度は最近の調査では図6に示すようにかなり異なることが分かってきた。これはダウンカマ部における酸素、過酸化水素と水素の再結合効果によるものであり、特に流速が高いジェットポンプを有するプラントではダウンカマ領域における再結合効果が劣るため、炉底部の実効酸素濃度が高くなるものである。

【0028】これらのことから分かるように、水素注入量に対する炉水溶存酸素の低減効果も炉内の位置によって異なるため、この点を考慮したモニタリングシステムが必要である。また、図4及び図5に示すように、原子炉再循環系又は原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度と給水系の水素濃度との間の相関を定量的に把握できることも分かった。

【0029】一方、プラントに設置できるサンプリングラインはモニター信頼性の維持及びメンテナンスの容易性を考慮すると設置位置は限定されることから、これらの限定された位置での測定値に基づいて水素の注入量を制御することが望ましい。本実施例はまず以上の知見に基づいており、予め図3に示すような原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系と炉底部の実効酸素濃度の相関を求めておき、メンテナンスが容易である原子炉再循環系あるいは冷却材浄化系における酸素濃度測定値を指標として水素の注入量を制御することにより、原子炉底部の水質を正確に制御することが可能となる。また、サンプリングラインの設置位置は原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系に限定されるので、水質の計測装置のメンテナンス等についても通常運転中に接近が可能な原子炉格納容器外の原子炉建屋内に設置できるため、炉底部からの接続ラインの計測系にくらべて極めて容易である。また、機器の信頼性維持も容易である。

【0030】図3に示す相関は解析又は試験のいずれによって求めてもよい。図9は、図6に示す解析と同様の

モデル解析により、再循環系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を求めたものである。図3に示す相関を解析で求める場合、図9に示す相関の相関の平均値をとることにより求められる。

【0031】原子炉再循環系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を試験で求める場合は、短期的な注入試験により、水素の注入量を給水水素濃度が例えば0ppmから約2.4ppmまで段階的に変わるように変化させて求めることができる。この場合、短期試験時の測定系は特開平3-85495号公報に示すような压力容器ボトムドレイン配管または炉底部にサンプリングラインを仮設にて設けて対処することができる。

【0032】一方、原子炉底部の水質を制御する場合、原子炉底部SSC抑制及び炭素鋼腐食減肉抑制の観点から実効酸素濃度の制御範囲を把握しておくことが重要である。図8に実験データ等から得た溶存酸素濃度とステンレス鋼のSCCによる亀裂進展速度の関係を示す。この図から、水素注入によって溶存酸素濃度を50ppb以下に下げれば、SCCの亀裂進展速度は通常の1/10程度にまで下がること分かる。また、図9に示す実験データから、実効酸素濃度を15ppb以下に下げると炭素鋼の腐食速度は上昇し始め、5ppb以下にまで下げると、炭素鋼の腐食速度は数百m d m (mg/dm<sup>2</sup>・mo) (配管厚さ2mm程度)まで上昇することが分かる。実際に炉底部に接続された配管や原子炉冷却材浄化系の配管機器は炭素鋼材料を使用しているプラントがあり、このようなプラントで水素注入を行う場合、その点を考慮しておく必要がある。

【0033】本実施例は以上の知見にも基づいており、図8及び図9の結果から原子炉底部の実効酸素濃度が5ppb～50ppbになるように水素の注入量を制御する。この考え方をまとめて示した図10である。すなわち、水素注入の導入に際して相反する2つの条件を考慮する。1の条件は、原子炉底部領域の構造物材料のSCC亀裂進展遅延であり、耐SCC寿命を改善するために炉底部の実効酸素濃度を50ppb以下にする。もう1つの条件は、ボトムドレイン配管の腐食防止であり、炭素鋼配管減肉抑制のために炉底部の実効酸素濃度を5ppb以上にする。よって、炉底部に接続された配管や原子炉冷却材浄化系の配管機器に炭素鋼材料を使用しているプラントの場合、 $5\text{ppb} \leq [\text{O}_2]_{\text{rr}} \leq 50\text{ppb}$  となるように水素注入量を制御することにより、最小量の水素注入量で原子炉压力容器底部材料のSCC亀裂進展遅延させ、かつ原子炉周りの炭素鋼材料の腐食減肉を防止することができる。

【0034】以上のように本実施例によれば、沸騰型原子力発電プラントにおけるCRDハウジングやICMハウジングなどの原始炉底部の実効酸素濃度を正確に制御することができるので、原子炉底部領域の構造物材料のSCC亀裂進展を遅延させるなど原子炉底部機器など



の腐食環境を適正な水素注入量により緩和することが可能となり、取替が困難な原子炉底部の機器材料の健全性を維持することができる。

【0035】また、原子炉底部に接続された配管や原子炉冷却材浄化系の配管機器には炭素鋼材料を使用しているブラントの場合、実効酸素濃度の制御範囲を $5 \text{ ppb} \leq [\text{O}_2]_{\text{eff}} \leq 50 \text{ ppb}$ とすることにより炭素鋼材料の腐食減肉を確実に防止もしくは抑制することが可能となる。

【0036】また、原子炉再循環系や給水系統に設置している従来のサンプリングラインを使用可能であるため新たなサンプリングラインの設置は不要である。また炉底部に接続したサンプリングラインに比べて沈降性クラッドが蓄積し線量率が上昇する可能性も少なく、システム、計器、等のメインテナンスが容易であり、さらに信頼性維持も容易である。

【0037】なお、上記実施例では、実効酸素濃度を $5 \text{ ppb} \sim 50 \text{ ppb}$ の範囲で制御したが、炭素鋼材料の腐食をより一層抑制するためには、図9の解析結果より $15 \text{ ppb} \sim 50 \text{ ppb}$ の範囲で制御するのが好ましい。また、炭素鋼材料の肉厚は設計段階で約数mmの腐食代を考慮しており $5 \text{ ppb} \leq [\text{O}_2]_{\text{eff}} \leq 15 \text{ ppb}$ とした場合に腐食は進行することは予想されるが、定期的に適切な腐食監視を行いながらブラント運転寿命期間中に腐食代が十分な余裕を持つことを確認しながら対応することが代案として考えられる。したがって実効酸素濃度を $5 \text{ ppb}$ から $15 \text{ ppb}$ とすることも可能である。

【0038】本発明の第2実施例を図11～図13を用いて説明する。図11において、図1に示す部材と同等の部材には同じ符号を付している。本実施のブラントは、原子炉底部の水質を制御するための水素注入系54Aを備えている。この水素注入系54Aは、給水系50より分岐しサンプリングラインを構成する配管P26、P27及びバルブ37と、このサンプリングラインの末端に設置された $\text{H}_2$ モニター14と、 $\text{H}_2$ モニター14による給水系50の水素濃度の検出値を原子炉底部の実効酸素濃度に換算する制御装置12Aと、給水系50に設置された水素注入設備55とを備えている。バルブ36は制御装置12Aから出力される電気信号に応じて開度が制御されるものであり、制御装置12Aは上記換算して求めた原子炉底部での実効酸素濃度に応じてバルブ36の開度を制御するための電気信号を発生する。

【0039】制御装置12Aの制御機能の詳細を図12に示すフローチャートを用いて説明する。 $\text{H}_2$ モニター14により給水系50の水素濃度が測定され、その電気信号が制御装置12Aに入力されると(ステップ300)、その水素濃度の測定値を図13に示す給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関に基づいて変換し、原子炉底部の実効酸素濃度を求める(ステップ

301)。この給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関も予め解析又は試験により求めておいたものをメモリーに記憶させたものである。この後の操作は第1実施例と同じである。すなわち、求めた原子炉底部の実効酸素濃度が $5 \text{ ppb}$ 以上かどうかを判断し(ステップ302)、実効酸素濃度が $5 \text{ ppb}$ 未満と判断されるとバルブ36の開度を小さくする電気信号を発生し、水素注入設備55から給水系50への水素の注入量を減少させる(ステップ303)。実効酸素濃度が $5 \text{ ppb}$ 以上と判断されると、実効酸素濃度が $50 \text{ ppb}$ 以上かどうかを判断し(ステップ304)実行酸素濃度が $50 \text{ ppb}$ 以下と判断されると、バルブ36の開度を保持する電気信号を発生し、水素注入設備55からの水素の注入量を保持する(ステップ305)。原子炉底部の実効酸素濃度が $50 \text{ ppb}$ 以上と判断されると、バルブ36の開度を大きくする電気信号を発生し、水素注入設備55から給水系への水素の注入量を増大させる(ステップ306)。このようにして本実施例でも原子炉底部の実効酸素濃度が $5 \text{ ppb} \sim 50 \text{ ppb}$ の範囲内となるよう制御される。

【0040】図13に示す相関は解析又は試験のいずれかによって求めてもよい。図13に示す相関を解析で求める場合、図6に示す原子炉底部水についての給水水素濃度と炉内溶存酸素の平均値をとることにより求められる。また、試験により求める場合は、短期的な注入試験により、水素の注入量を給水水素濃度が例えば $0 \text{ ppm}$ から約2.4 ppmまで段階的に変わるように変化させて、原子炉底部の実効酸素濃度を測定することで求められる。

【0041】本実施例によっても第1の実施例と同様の効果を得ることができる。また、本実施例によれば、給水の水素濃度を直接的に制御するためより給水濃度に対して安定な注入運転が期待できる。

【0042】本発明の第3実施例を図14を用いて説明する。本実施例は、第1の実施例において、炭素鋼材料の腐食を監視するものである。すなわち、図14において、 $\text{O}_2$ モニター11には腐食モニター15が配管P28を介して接続されている。この腐食モニター15は炭素鋼材料の腐食率を測定し腐食速度を監視するものである。腐食モニター15としては例えば超音波計測計を用い、その検出信号を制御装置12に入力し、計測結果を知らしめる。腐食モニターとしては腐食試験片を侵漬し、その腐食状態を監視してもよい。これより炭素鋼の腐食防止に関してより信頼性の高い運転が可能である。

【0043】また、本実施例では、実効酸素濃度を $5 \text{ ppb}$ 以下にまで下げると炭素鋼の腐食速度は数百 $\text{m d m}$ まで上昇することを考慮して、実際に炉底部に接続された配管や原子炉冷却材浄化系の炭素鋼材料を使用している配管機器の近傍で腐食を監視するものである。これにより、第1の実施例で述べたように、炉底部の実効酸素

濃度が5ppb~15ppbの範囲内となるように制御する場合でも適切な腐食監視を行いながらプラント運転寿命期間中に腐食代が十分な余裕を持つことを確認しながら対応することができる。

【0044】

【発明の効果】本発明によれば、CRDハウジングやICMハウジングなどの原子炉底部機器などの腐食環境を、適正な水素注入量により緩和することが可能となる。このことにより、取替が困難な原子炉底部の機器材料の健全性を維持することができる。さらに、実効酸素濃度を適正に維持することにより压力容器ボトムドレインの炭素鋼配管の腐食減肉についても事前の防止または予測が可能となる。

【0045】また、原子炉再循環系や給水系統に設置している従来のサンプリングラインを使用可能であるため新たなサンプリングラインの設置は不要である。また、炉底部に接続したサンプリングラインに比べて沈降性クラッドが蓄積し線量率が上昇する可能性も少なく、システム、計器、等のメンテナンスが容易であり、さらにモニターの信頼性維持が可能である。

【0046】さらに、炉底部に接続された配管や原子炉冷却材浄化系の配管機器には炭素鋼材料を使用しているプラントの場合、実効酸素濃度の制御範囲を5ppb~50ppbとすることにより、原子炉底部SCCの抑制に加え、炭素鋼材料の腐食減肉を確実に防止もしくは抑制することが可能となった。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例の沸騰水型原子力発電プラントの概略図である。

【図2】本発明の第1実施例の動作フローチャートである。

【図3】第1実施例の原子炉再循環系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を示す図である。

【図4】原子炉内における実効酸素濃度の分布を示す図である。

【図5】原子炉内部の代表点における給水水素の濃度に\*

\* 対する実効酸素濃度の変化を示す図である。

【図6】解析から求められた給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を示す図である。

【図7】解析から求められた原子炉再循環系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を示す図である。

【図8】実効酸素濃度に対するSCC遅延速度相対比を示す図である。

【図9】実効酸素濃度に対する炭素鋼の腐食率を示す図である。

【図10】水素注入量制御範囲の考え方を示す図である。

【図11】本発明の第2実施例の全体概略図である。

【図12】本発明の第2実施例の動作フローチャートである。

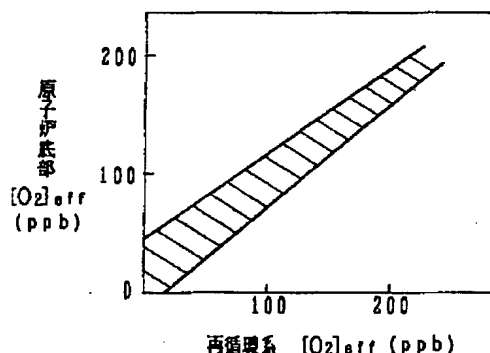
【図13】第2実施例の給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を示す図である。

【図14】本発明の第3実施例の全体概略図である。

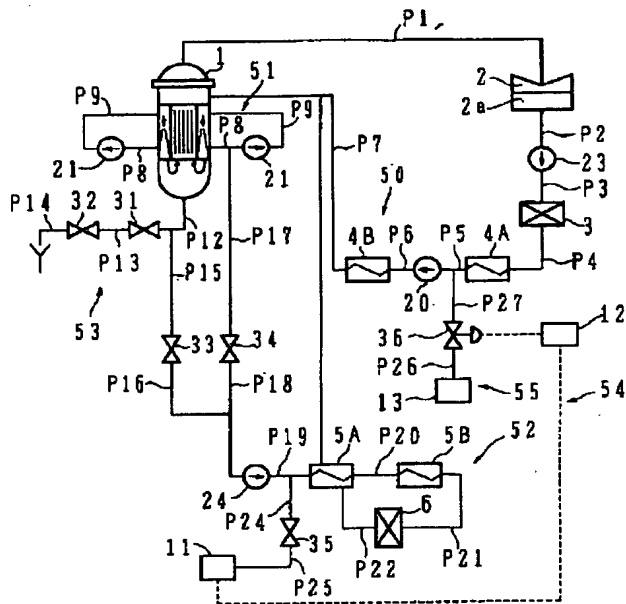
【符号の説明】

- 1 原子炉
- 2 タービン
- 3 復水浄化装置
- 4 A, 4 B 給水加熱器
- 5 A, 5 B 浄化系加熱器
- 6 濾過脱塩器
- 11 O<sub>2</sub>モニター
- 12 制御装置
- 13 水素供給源
- 14 H<sub>2</sub>モニター
- 15 腐食モニター
- 50 給水系
- 51 原子炉再循環系
- 52 原子炉冷却系
- 53 原子炉ボトムドレイン系
- 54 水素注入系
- 55 水素注入設備

【図7】

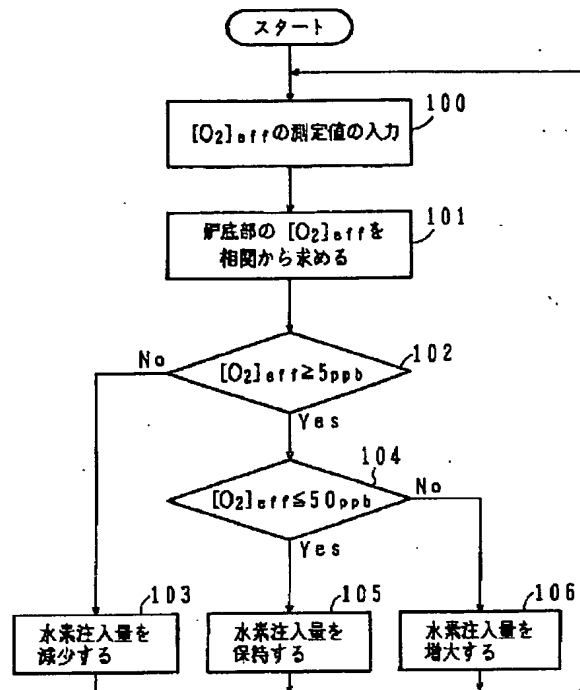


【図1】

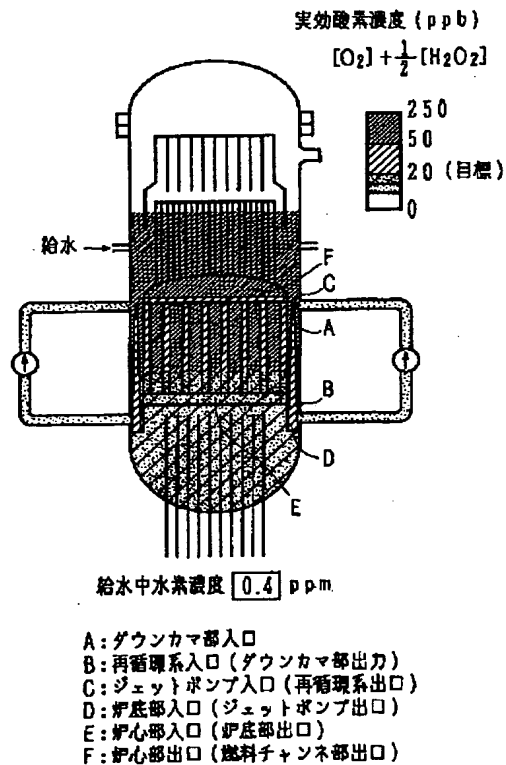


- |                         |                 |
|-------------------------|-----------------|
| 1: 原子炉                  | 13: 水素供給源       |
| 2: タービン                 | 50: 給水系         |
| 3: 復水浄化装置               | 51: 原子炉再循環系     |
| 4A, 4B: 給水加熱器           | 52: 原子炉冷却系      |
| 5A, 5B: 浄水系加熱器          | 53: 原子炉ボトムドレイン系 |
| 6: 減速脱塩器                | 54: 水素注入系       |
| 11: O <sub>2</sub> モニター | 55: 水素注入設備      |
| 12: 制御装置                |                 |

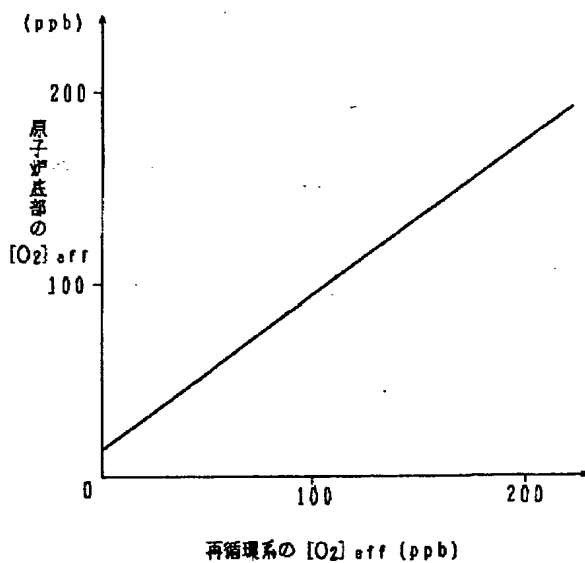
【図2】



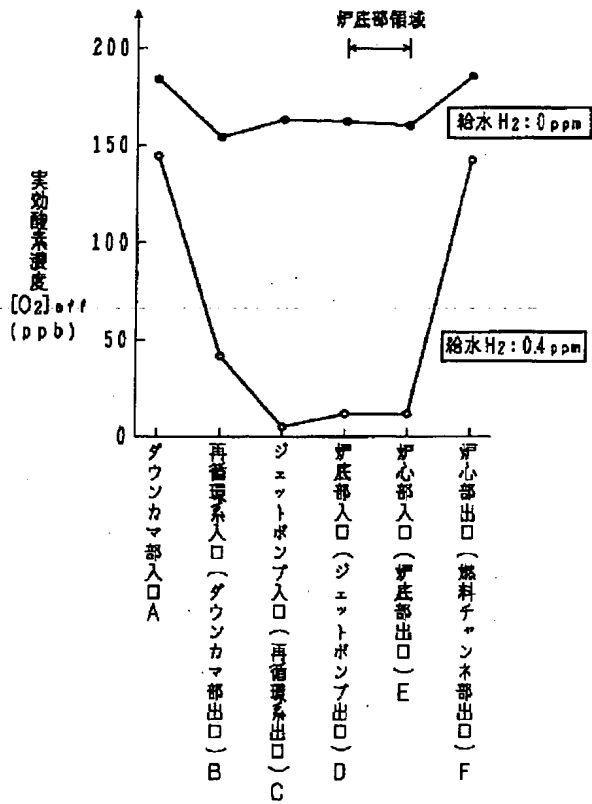
【図4】



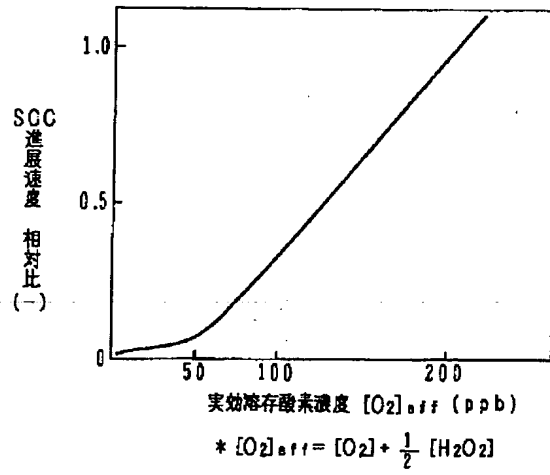
【図3】



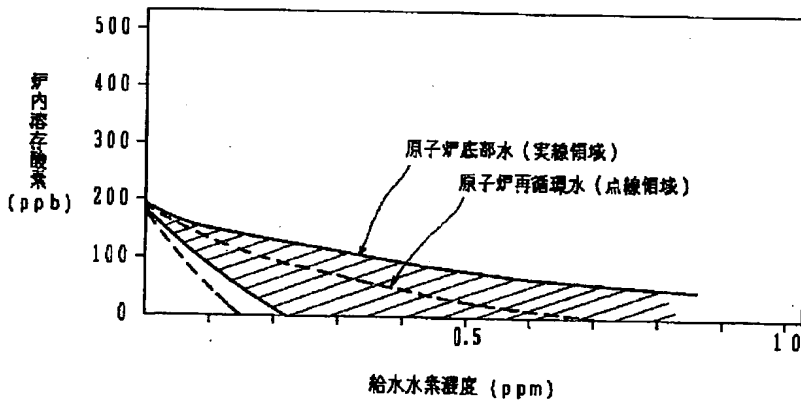
【図5】



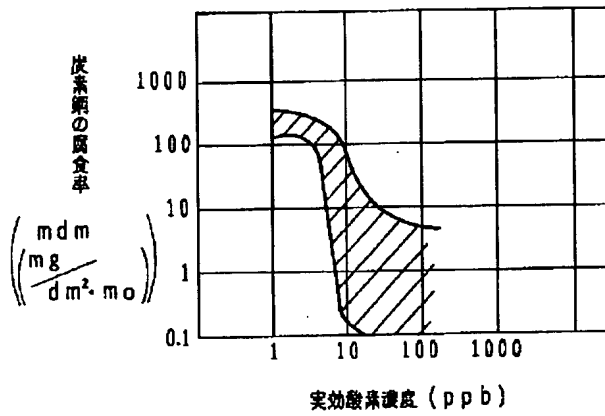
【図8】



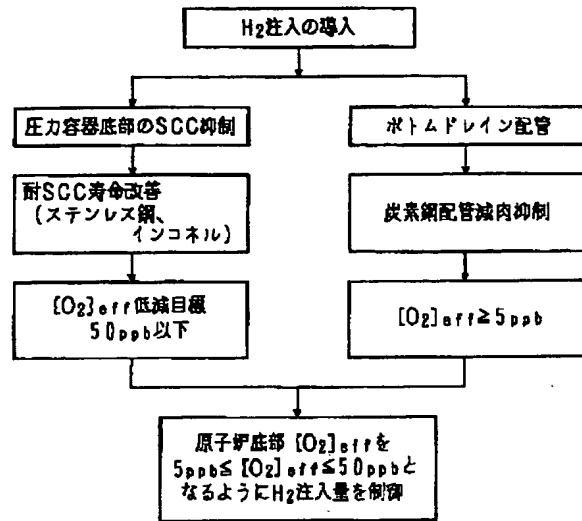
【図6】



【図9】



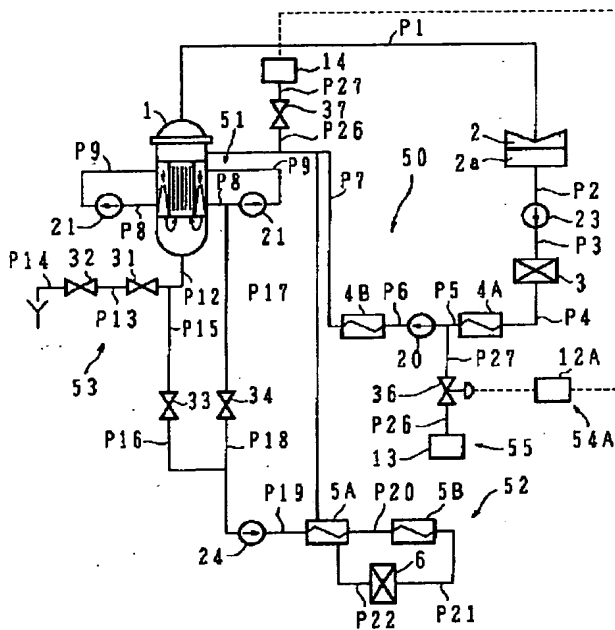
【図10】



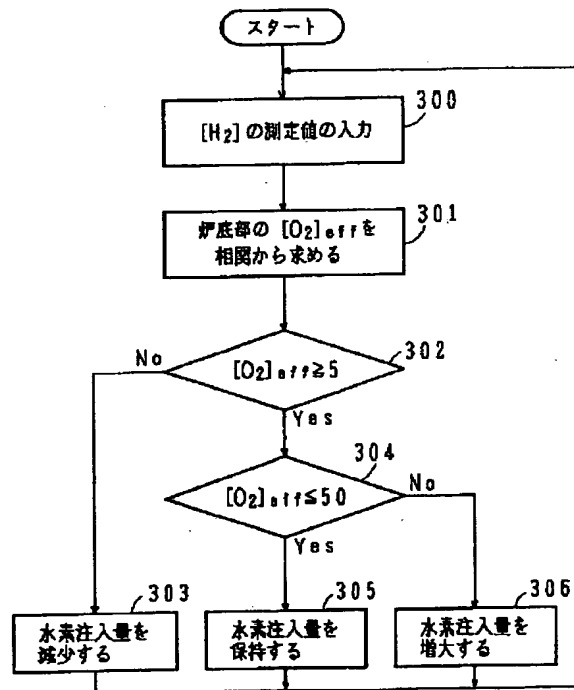
$$(\text{注}) \quad [\text{O}_2]_{\text{eff}} = [\text{O}_2] + \frac{1}{2} [\text{H}_2\text{O}]$$

H<sub>2</sub>注入量制御範囲の考え方

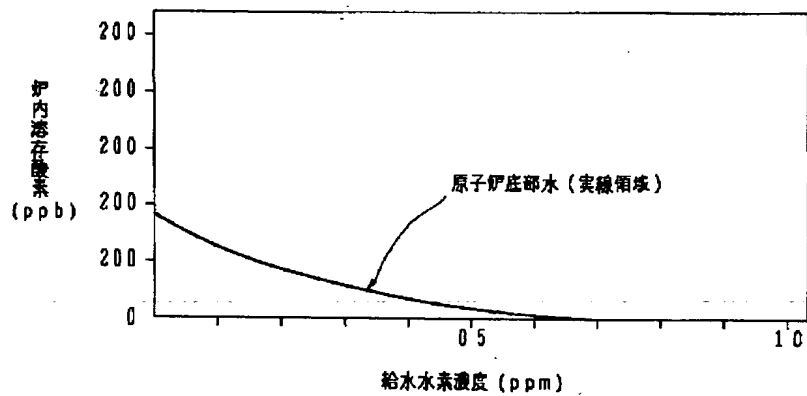
【図11】

14: H<sub>2</sub>モニター

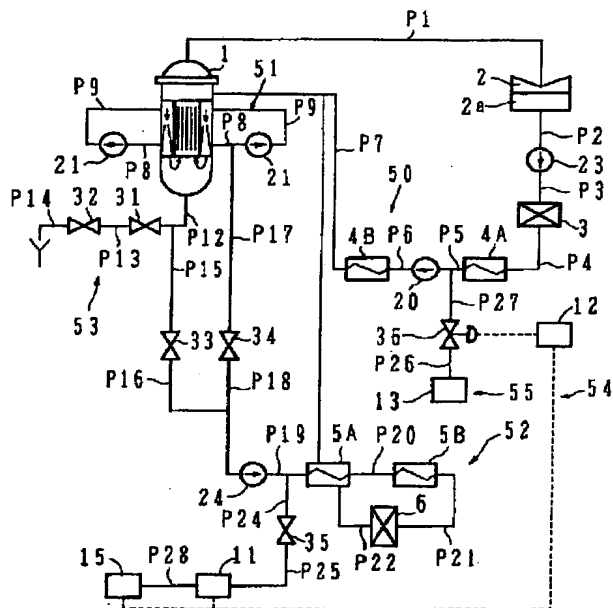
【図12】



【図13】



【図14】



15: 腐食モニター

フロントページの続き

(72)発明者 大角 克己  
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会  
社日立製作所日立工場内

(72)発明者 服部 成雄  
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会  
社日立製作所日立工場内

(72)発明者 安藤 昌規  
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会  
社日立製作所日立工場内

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載  
 【部門区分】第6部門第1区分  
 【発行日】平成12年12月15日(2000.12.15)

【公開番号】特開平7-218689  
 【公開日】平成7年8月18日(1995.8.18)  
 【年通号数】公開特許公報7-2187  
 【出願番号】特願平6-12569  
 【国際特許分類第7版】

G21D 3/08 GDB  
 1/00 GDB

【FI】

G21D 3/08 GDB X  
 1/00 GDB X

【手続補正書】  
 【提出日】平成12年3月2日(2000.3.2)  
 【手続補正1】  
 【補正対象書類名】明細書  
 【補正対象項目名】全文  
 【補正方法】変更  
 【補正内容】

【書類名】 明細書  
 【発明の名称】 沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法及び沸騰水型原子力発電プラント

【特許請求の範囲】

【請求項1】 水素を注入することにより原子炉水中の溶存酸素濃度を低減するように水質を制御する沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法において、原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系において、酸素濃度と過酸化水素濃度とで定義される実効酸素濃度を測定すること、予め求めておいた原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関に基づいて、前記測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を求めること、該求めた実効酸素濃度が所定範囲内となるように原子炉水中への水素の注入量を制御することを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法。

【請求項2】 水素を注入することにより原子炉水中の溶存酸素濃度を低減するように水質を制御する沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法において、給水系において、水素濃度を測定すること、予め求めておいた給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関に基づいて、前記測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を求めること、該求めた実効酸素濃度が所定範囲内となるように原子炉水中への水素の注入量を制御することを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法。

【請求項3】 請求項1または2記載の沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法において、前記水素を給水系に注入することを特徴とする沸騰水型原子力発電プラ

ントの水質制御方法。

【請求項4】 請求項1乃至3のいずれか1項記載の沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法において、前記原子炉底部の実効酸素濃度が5ppb～50ppbの範囲内になるように水素を注入することを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法。

【請求項5】 請求項1乃至3のいずれか1項または2記載の沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法において、前記原子炉底部の実効酸素濃度が15ppb～50ppbの範囲内になるように水素を注入することを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法。

【請求項6】 請求項1乃至5のいずれか1項記載の沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法において、原子炉水に接する炭素鋼材料の腐食量もモニターすることを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法。

【請求項7】 請求項1乃至6のいずれか1項記載の沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法において、前記実効酸素濃度は、 $[O_2]_{eff} = [O_2] + 1/2 [H_2O_2]$  ただし  $[O_2]_{eff}$  : 実効酸素濃度  $[O_2]$  : 酸素濃度  $[H_2O_2]$  : 過酸化水素濃度で定義されることを特徴とする沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法。

【請求項8】 給水系に水素を注入する水素注入装置と、原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の酸素濃度と過酸化水素濃度とで定義される実効酸素濃度を測定する酸素モニターと、原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関に基づいて、前記酸素モニターによる原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度の測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を演算し、その演算で求められた原子炉底部の実効酸素濃度が所定の範囲内となるよう前記水素注入装置を制御する制御装置とを備えることを特徴とする沸騰水型原子力発電プラント。

【請求項9】 給水系に水素を注入する水素注入装置と、

給水系の水素濃度を測定する水素モニターと、給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関に基づいて、前記水素モニターによる給水系の水素濃度の測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を演算し、その演算で求められた原子炉底部の実効酸素濃度が所定の範囲内となるよう前記水素注入装置を制御する制御装置とを備えることを特徴とする沸騰水型原子力発電プラント。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は沸騰水型原子力発電プラントおよび水質制御方法に係り、特に制御棒駆動機構（CRD）ハウジングや炉内計装管（ICM）ハウジングなどのように原子炉底部領域に設けられた構造物材料（ステンレス材）の応力腐食割れ（SCC）亀裂進展遅延、及び原子炉冷却材浄化系等の炉廻りの炭素鋼材料の減肉を抑制するのに好適な水素注入を制御する沸騰水型原子力発電プラントおよび水質制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】一般に沸騰水型原子力発電プラントの炉内では水の放射性分解により酸素分子と水素分子が生じ、原子炉底部における酸素濃度と過酸化水素濃度とで定義される実効酸素濃度が運転中に原子炉再循環系で約200ppbにまで上昇する。この実効酸素濃度が高いとステンレス材の応力腐食割れ（SCC）に影響し、その感受性を高めるということが知られている。このため、特公昭63-19838号公報に記載のように、一次冷却水の腐食電位、溶存酸素及び溶存水素を測定し、この各測定値に従い水素注入量を制御することにより水の放射性分解を抑制し、炉水の溶存酸素濃度を低減することが考えられている。この場合、その公知例に示されるように一次冷却水の測定は原子炉再循環系や給水系などにサンプリングラインを設けて行なうのが一般的である。

【0003】また、特開平3-85495号公報に記載のように、原子力発電プラントにおいて、原子炉底部に設けたボトムドレインラインにサンプリングラインを接続し、このサンプリングラインを介して原子炉底部の水質を腐食環境モニターを用いて直接測定し、水素注入量を制御するものがある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来技術には次のような問題がある。特公昭63-19838号公報に記載の従来技術では、上記のように原子炉水を原子炉再循環系に設けた溶存酸素濃度測定装置の測定結果に基づいて給水系の水素注入量を制御している。しかしながら、原子炉底部の水質が原子炉再循環系の水質と多少異なり、原子炉再循環系の溶存酸素濃度を制御しても原子炉底部の溶存酸素濃度を正確には制御できない。このため、CRDハウジングやICMハウジングなどのように原子炉底部に設けられた構造物材料のSCC

の抑制が適切とはいえなかった。また、ステンレス材のSCCの進展を遅延させるには炉水の溶存酸素濃度を低減すればよいが、原子炉底部に接続された配管や原子炉冷却材浄化系の配管機器には炭素鋼材料を使用しているプラントの場合、溶存酸素濃度が下がりすぎると炭素鋼の腐食が促進する。このため原子炉底部の溶存酸素濃度を正確に制御できないとその溶存酸素濃度が下がりすぎ、炭素鋼材料の腐食が促進される懸念もあった。

【0005】また、特開平3-85495号公報記載の従来技術では、圧力容器ボトムドレインラインの水質を測定しながら給水系の水素注入量を制御している。しかし、炉底部のボトムドレインにサンプリングラインを設けることは沈降性クラッドによる配管内の閉塞や線量率の上昇等の心配があり、モニターの信頼性維持及び機器のメンテナンスに困難が予想され、長期間の使用には適していない。長期的なモニタリングの方法としては従来通りの再循環系、給水系などにサンプリングラインを設けることが望ましい。

【0006】本発明の目的は、炉底部の実効酸素濃度を正確に制御しその実効酸素濃度を適正に維持することにより、原子炉底部機器などの腐食環境を適正に緩和することのできる沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法及び沸騰水型原子力発電プラントを提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の概念による沸騰水型発電プラントの水質制御方法は、上記目的を達成するために次の構成を採用する。すなわち、水素を注入することにより原子炉水中の溶存酸素濃度を低減するように水質を制御する沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法において、原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系において、酸素濃度と過酸化水素濃度とで定義される実効酸素濃度を測定すること、予め求めておいた原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関に基づいて、前記測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を求めること、該求めた実効酸素濃度が所定範囲内となるように原子炉水中への水素の注入量を制御することの各手順を有するものである。

【0008】また、本発明の第2の概念による沸騰水型発電プラントの水質制御方法は、上記目的を達成するために次の構成を採用する。すなわち、水素を注入することにより原子炉水中の溶存酸素濃度を低減するように水質を制御する沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法において、給水系において、水素濃度を測定すること、予め求めておいた給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関に基づいて、前記測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を求めること、該求めた実効酸素濃度が所定範囲内となるように原子炉水中への水素の注入量を制御することの各手順を有するものである。



【0009】上記第1及び第2の概念による沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法において、好ましくは、前記水素を給水系に注入する。また、好ましくは、前記原子炉底部の実効酸素濃度が5ppb～50ppbの範囲内に、より好ましくは15ppb～50ppbになるように水素を注入する。さらに好ましくは、原子炉水に接する炭素鋼材料の腐食量もモニターするものであり、この場合実効酸素濃度は5ppb～15ppbの範囲内になるように制御してもよい。

【0010】また、上記第1の概念による沸騰水型発電プラントの水質制御方法において、前記原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関は、予め試験により給水水素濃度を段階的に変化させることにより求めておいてもよいし、予め解析により求めておいてもよい。同様に第2の概念による沸騰水型発電プラントの水質制御方法において、前記給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関は、予め試験により給水水素濃度を段階的に変化させることにより求めておいてもよいし、予め解析により求めておいてもよい。

【0011】さらに、上記第1及び第2の概念による沸騰水型発電プラントの水質制御方法において、好ましくは、前記実効酸素濃度は、 $[O_2]_{eff} = [O_2] + 1/2 [H_2O_2]$  ただし  $[O_2]_{eff}$  : 実効酸素濃度  $[O_2]$  : 酸素濃度  $[H_2O_2]$  : 過酸化水素濃度で定義される。

【0012】また、本発明の第1の概念による沸騰水型発電プラントは、上記目的を達成するために次の構成を採用する。すなわち、給水系に水素を注入する水素注入装置と、原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の酸素濃度と過酸化水素濃度とで定義される実効酸素濃度を測定する酸素モニターと、原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関に基づいて、前記酸素モニターによる原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度の測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を演算し、その演算で求められた原子炉底部の実効酸素濃度が所定の範囲内となるよう前記水素注入装置を制御する制御装置とを備える。

【0013】さらに、本発明の第2の概念による沸騰水型発電プラントは、上記目的を達成するために次の構成を採用する。すなわち、給水系に水素を注入する水素注入装置と、給水系の水素濃度を測定する水素モニターと、給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関に基づいて、前記水素モニターによる給水系の水素濃度の測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を演算し、その演算で求められた原子炉底部の実効酸素濃度が所定の範囲内となるよう前記水素注入装置を制御する制御装置とを備える。

【0014】

【作用】本願発明者等による原子炉内の水質の解析評価

の結果、原子炉再循環系又は原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度と給水系の水素濃度との間の相関を定量的に把握できることが分かった。本発明はこの知見に基づくものであり、本発明の第1の概念では、原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を予め求めておき、実効酸素濃度の測定はメンテナンスが容易である原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系で行い、前記相関に基づいてその原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系の酸素濃度の測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を求め、原子炉底部の実効酸素濃度が所定の範囲内（すなわち適正な範囲内）となるよう水素の注入量を制御する。また、本発明の第2の概念では、給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を予め求めておき、水素濃度の測定はやはりメンテナンスの容易な給水系で行い、前記相関に基づいてその給水系の水素濃度の測定値から原子炉底部の実効酸素濃度を求め、原子炉底部の実効酸素濃度が所定の範囲内（すなわち適正な範囲内）となるよう水素の注入量を制御する。

【0015】このように相関を用いて水素の注入量を制御することにより、原子炉底部の腐食環境を監視しながら水素注入量を制御することになるので、取替が困難な原子炉底部の機器に対してより正確な水質制御をすることが可能であり、また注入量は必要最小限（すなわち適正な注入量）に制御されることになり、原子炉底部領域の構造物材料のSCC亀裂進展を遅延させかつ原子炉冷却材浄化系等の炉廻りの炭素鋼材料の腐食減肉を抑制することができる。また、サンプリングラインの設置位置は原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系に限定されるので、水質の計測装置のメンテナンス等についても通常運転中に接近が可能な原子炉格納容器外の原子炉建屋内に設置できるため、炉底部からの接続ラインの計測系にくらべて極めて容易である。また、機器の信頼性維持も容易である。

【0016】また、実験データより、水素注入によって溶存酸素濃度を50ppb以下に下げると、SCCの亀裂進展速度は通常の1/10程度にまで下がり、実効酸素濃度を15ppb以下に下げると炭素鋼の腐食速度は上昇しはじめ、実効酸素濃度を5ppb以下にまで下げると、炭素鋼の腐食速度は数百m/dmまで上昇することが分かった。

【0017】したがって、炉底部に接続された配管や原子炉冷却材浄化系の配管機器に炭素鋼材料を使用しているプラントの場合、実効酸素濃度の制御範囲を5ppb～50ppb、より好ましくは、 $15ppb \leq [O_2]_{eff} \leq 50ppb$  とすることにより腐食を抑制または防止することが可能となる。

【0018】また、実効酸素濃度の制御範囲を5ppb～15ppbとした場合には腐食が若干進行するが、炭素鋼材料の肉厚は設計段階で約数mmの腐食代を考慮し

ているので、炭素鋼材料の腐食量を経時的に監視することにより、運転寿命期間中に腐食代が十分な余裕を持つことを確認しながら対応できると考えられる。

【0019】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を用いて説明する。まず、本発明の第1の実施例による沸騰水型原子力発電プラントの水質制御方法及び沸騰水型発電プラントを図1から図10を用いて説明する。図1において、本実施例の沸騰水型原子力発電プラントは、原子炉1と、主蒸気管P1と、原子炉1から発生した蒸気が主蒸気管P1を介して送られ発電機を駆動するタービン2と、タービン2下部の復水器2aで回収された復水を原子炉1へと循環させて戻す給水系50と、原子炉1内の炉心を濾過した炉水を炉心底部に戻す原子炉再循環系51と、原子炉再循環系51から分岐し炉水を浄化して給水系50に戻す原子炉冷却材浄化系52と、炉水の水抜きを目的とした原子炉ボトムドレイン系53とを備えている。給水系50は、復水ポンプ23と、復水浄化装置3と、給水加熱器4A、4Bと、供給ポンプ20と、それらをつなぐ配管P2～P7とで構成されている。原子炉再循環系51は、再循環ポンプ21と、再循環ポンプ21を原子炉1につなぐ配管P8、P9とで構成されている。原子炉冷却材浄化系52は浄化系ポンプ24と、浄化水加熱器5A、5Bと、濾過脱塩器6と、これらをつなぐ配管P17～P23で構成されている。原子炉ボトムドレイン系53はドレインラインを構成する配管P12～P14及びバルブ31、32とで構成されている。ドレインラインの配管P12からはバルブ33を備えた配管P15、P16が分岐し、配管P16は原子炉冷却材浄化系52に接続され、原子炉冷却水も原子炉冷却材浄化系52により一部浄化が行なわれる。また、本実施例のプラントは、上記構成に加え、原子炉底部の水質を制御するための水素注入系54を備えている。この水素注入系54は、原子炉冷却材浄化系52より分岐しサンプリグラインを構成する配管P24、P25及びバルブ35と、このサンプリグラインの末端に設置された $O_2$ モニター11と、 $O_2$ モニター11の検出値を用いて原子炉再循環系の酸素濃度 $[O_2]$ と過酸化水素濃度 $[H_2O_2]$ で定義される実効酸素濃度 $[O_2]_{eff}$ の値を原子炉底部の実効酸素濃度に換算する制御装置12と、給水系50に設置された水素注入設備55とを備えている。水素注入設備55は水素供給源13と、水素供給源13を給水系50につなげる配管P26、P27、及びバルブ36とで構成される水素注入ラインとを有している。バルブ36は制御装置12から出力される電気信号に応じて開度が制御されるものであり、制御装置12は上記換算して求めた原子炉底部の実効酸素濃度に応じてバルブ36の開度を制御するための電気信号を発生する。

【0020】 $O_2$ モニター11で測定される原子炉水の酸素濃度と過酸化水素濃度とで決定される実効酸素濃度

は、過酸化水素濃度 $[H_2O_2]$ の化学量論比を考慮して、以下の式で定義される。 $[O_2]_{eff} = [O_2] + 1/2 [H_2O_2]$ ただし $[O_2]_{eff}$ ：実効酸素濃度

$[O_2]$ ：酸素濃度 $[H_2O_2]$ ：過酸化水素濃度通常は、 $H_2O_2$ はサンプリグラインP24、P25でほぼ完全に分解するため、 $O_2$ モニター11により $[O_2] + 1/2 [H_2O_2]$ に相当する溶存酸素濃度を測定することができる。なお、本実施例では原子炉冷却材浄化系52からサンプリグラインを分岐させ実効酸素濃度の測定を行う構成としたが、原子炉再循環系51からサンプリグラインを分岐し、実効酸素濃度を測定する構成としてもよい。

【0021】制御装置12の制御機能の詳細を図2に示すフローチャートを用いて説明する。 $O_2$ モニター11により原子炉再循環系の実効酸素濃度が測定され、その電気信号が制御装置12に入力されると（ステップ100）、その実効酸素濃度の測定値を図3に示す原子炉再循環系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関に基づいて変換し、原子炉底部の実効酸素濃度を求める（ステップ101）。この原子炉再循環系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関は予め解析又は実験により求めておいたものをメモリーに記憶させたものである。このようにして求めた原子炉底部の実効酸素濃度が5ppb以上かどうかを判断し（ステップ102）、実効酸素濃度が5ppb未満と判断されるとバルブ36の開度を小さくする電気信号を発生し、水素注入設備55から給水系への水素の注入量を減少させる（ステップ103）。

【0022】一方、実効酸素濃度が5ppb以上と判断されると、実効酸素濃度が50ppb以上かどうかを判断し（ステップ104）、実効酸素濃度が50ppb以下と判断されると、バルブ36の開度を保持する電気信号を発生し、水素注入設備55からの水素の注入量を保持する（ステップ105）。

【0023】また、原子炉底部の実効酸素濃度が50ppb以上と判断されると、バルブ36の開度を大きくする電気信号を発生し、水素注入設備55から給水系への水素の注入量を増大させる（ステップ106）。

【0024】バルブ36の開度の制御による水素注入量の制御は水素注入量と水質（実効酸素濃度）の相関を制御装置12に予め入力しておくことにより実施可能である。このようにして本実施例では原子炉底部の実効酸素濃度が5ppb～50ppbの範囲内となるよう制御される。

【0025】次に、本実施例におけるプラント水質制御方法の考え方及び作用効果を説明する。最近の水放射線分解解析によるモデル計算結果によれば、原子炉内の水質分布は図4に示すように炉内の各領域で大きく異なるのが特徴となっている。また、図5にも示すように、ジェットポンプを有するプラントの評価例では原子炉の底

部と他の領域の水質が異なっている。この図5は給水に0.4ppmの水素を注入した場合における原子炉内の水質のモデル解析結果の例を示したものである。モデル解析は反応定数等に一部仮定を含んでいるものの解析結果は実測値に比較的良く一致することが一般に知られている。さらに、原子炉再循環系と原子炉底部の溶存酸素濃度は最近の調査では図6に示すようにかなり異なることが分かってきた。これはダウンカマ部における酸素、過酸化水素と水素の再結合効果によるものであり、特に流速が高いジェットポンプを有するブラントではダウンカマ領域における再結合効果が劣るため、炉底部の実効酸素濃度が高くなるものである。

【0026】これらのことから分かるように、水素注入量に対する炉水溶存酸素の低減効果も炉内の位置によって異なるため、この点を考慮したモニタリングシステムが必要である。また、図4及び図5に示すように、原子炉再循環系又は原子炉冷却材浄化系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度と給水系の水素濃度との間の相関を定量的に把握できることも分かった。

【0027】一方、ブラントに設置できるサンプリングラインはモニター信頼性の維持及びメンテナンスの容易性を考慮すると設置位置は限定されることから、これらの限定された位置での測定値に基づいて水素の注入量を制御することが望ましい。本実施例はまず以上の知見に基づいており、予め図3に示すような原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系と炉底部の実効酸素濃度の相関を求めておき、メンテナンスが容易である原子炉再循環系あるいは冷却材浄化系における酸素濃度測定値を指標として水素の注入量を制御することにより、原子炉底部の水質を正確に制御することが可能となる。また、サンプリングラインの設置位置は原子炉再循環系または原子炉冷却材浄化系に限定されるので、水質の計測装置のメンテナンス等についても通常運転中に接近が可能な原子炉格納容器外の原子炉建屋内に設置できるため、炉底部からの接続ラインの計測系にくらべて極めて容易である。また、機器の信頼性維持も容易である。

【0028】図3に示す相関は解析又は試験のいずれによって求めてもよい。図7は、図6に示す解析と同様のモデル解析により、再循環系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を求めたものである。図3に示す相関を解析で求める場合、図7に示す相関の相関の平均値をとることにより求められる。

【0029】原子炉再循環系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を試験で求める場合は、短期的な注入試験により、水素の注入量を給水水素濃度が例えば0ppmから約2.4ppmまで段階的に変わるように変化させて求めることができる。この場合、短期試験時の測定系は特開平3-85495号公報に示すような压力容器ボトムドレイン配管または炉底部にサンプリングラインを仮設にて設けて対処することができる。

【0030】一方、原子炉底部の水質を制御する場合、原子炉底部SCC抑制及び炭素鋼腐食減肉抑制の視点から実効酸素濃度の制御範囲を把握しておくことが重要である。図8に実験データ等から得た溶存酸素濃度とステンレス鋼のSCCによる亀裂進展速度の関係を示す。この図から、水素注入によって溶存酸素濃度を50ppb以下に下げれば、SCCの亀裂進展速度は通常の1/10程度にまで下がる事が分かる。一方、図9は、実効酸素濃度に対する炭素鋼の腐食率を示す図である。この図9に示す実験データから、実効酸素濃度を15ppb以下に下げると炭素鋼の腐食速度は上昇し始め、5ppb以下にまで下げると、炭素鋼の腐食速度は数百m d m (mg/dm<sup>2</sup>・mo) (配管厚さ2mm程度)まで上昇することが分かる。実際に炉底部に接続された配管や原子炉冷却材浄化系の配管機器は炭素鋼材料を使用しているブラントがあり、このようなブラントで水素注入を行う場合、その点を考慮しておく必要がある。

【0031】本実施例は以上の知見にも基づいており、図8及び図9の結果から原子炉底部の実効酸素濃度が5ppb~50ppbになるように水素の注入量を制御する。この考え方をまとめて示したのが図10である。すなわち、水素注入の導入に際して相反する2つの条件を考慮する。1の条件は、原子炉底部領域の構造物材料のSCC亀裂進展遅延であり、耐SCC寿命を改善するために炉底部の実効酸素濃度を50ppb以下にする。もう1つの条件は、ボトムドレイン配管の腐食防止であり、炭素鋼配管減肉抑制のために炉底部の実効酸素濃度を5ppb以上にする。よって、炉底部に接続された配管や原子炉冷却材浄化系の配管機器に炭素鋼材料を使用しているブラントの場合、 $5\text{ppb} \leq [\text{O}_2]_{\text{eff}} \leq 50\text{ppb}$  となるように水素注入量を制御することにより、最小量の水素注入量で原子炉压力容器底部材料のSCC亀裂進展遅延させ、かつ原子炉周りの炭素鋼材料の腐食減肉を防止することができる。

【0032】以上のように本実施例によれば、沸騰水型原子力発電プラントにおけるCRDハウジングやICMハウジングなどの原子炉底部の実効酸素濃度を正確に制御することができるので、適正な水素注入量によって原子炉底部の実効酸素濃度を適正範囲に維持することができる。したがって、原子炉底部領域の構造物材料のSCC亀裂進展を遅延させるなど原子炉底部機器などの腐食環境を緩和することが可能となり、取替が困難な原子炉底部の機器材料の健全性を維持することができる。

【0033】また、原子炉底部に接続された配管や原子炉冷却材浄化系の配管機器には炭素鋼材料を使用しているブラントの場合、実効酸素濃度の制御範囲を5ppb  $\leq [\text{O}_2]_{\text{eff}} \leq 50\text{ppb}$  とすることにより炭素鋼材料の腐食減肉を確実に防止もしくは抑制することが可能となる。

【0034】また、原子炉再循環系や給水系統に設置し

ている従来のサンプリングラインを使用可能であるため新たなサンプリングラインの設置は不要である。また炉底部に接続したサンプリングラインに比べて沈降性クラッドが蓄積し線量率が上昇する可能性も少なく、システム、計器、等のメンテナンスが容易であり、さらに信頼性維持も容易である。なお、上記実施例では、実効酸素濃度を5ppb～50ppbの範囲で制御したが、炭素鋼材料の腐食をより一層抑制するためには、図9の解析結果より15ppb～50ppbの範囲で制御するのが好ましい。また、炭素鋼材料の肉厚は設計段階で約数mmの腐食代を考慮しており5ppb $\leq$ [O<sub>2</sub>]<sub>eff</sub> $\leq$ 15ppbとした場合に腐食は進行することは予想されるが、定期的に適切な腐食監視を行いながらプラント運転寿命期間中に腐食代が十分な余裕を持つことを確認しながら対応することが代案として考えられる。したがって実効酸素濃度を5ppbから15ppbとすることも可能である。

【0035】本発明の第2実施例を図11～図13を用いて説明する。図11において、図1に示す部材と同等の部材には同じ符号を付している。本実施のプラントは、原子炉底部の水質を制御するための水素注入系54Aを備えている。この水素注入系54Aは、給水系50より分岐しサンプリングラインを構成する配管P26、P27及びバルブ36と、このサンプリングラインの末端に設置されたH<sub>2</sub>モニター14と、H<sub>2</sub>モニター14による給水系50の水素濃度の検出値を原子炉底部の実効酸素濃度に換算する制御装置12Aと、給水系50に設置された水素注入設備55とを備えている。バルブ36は制御装置12Aから出力される電気信号に応じて開度が制御されるものであり、制御装置12Aは上記換算して求めた原子炉底部での実効酸素濃度に応じてバルブ36の開度を制御するための電気信号を発生する。

【0036】制御装置12Aの制御機能の詳細を図12に示すフローチャートを用いて説明する。H<sub>2</sub>モニター14により給水系50の水素濃度が測定され、その電気信号が制御装置12Aに入力されると(ステップ300)、その水素濃度の測定値を図13に示す給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関に基づいて変換し、原子炉底部の実効酸素濃度を求める(ステップ301)。この給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関も予め解析又は試験により求めておいたものをメモリーに記憶させたものである。この後の操作は第1実施例と同じである。すなわち、求めた原子炉底部の実効酸素濃度が5ppb以上かどうかを判断し(ステップ302)、実効酸素濃度が5ppb未満と判断されるとバルブ36の開度を小さくする電気信号を発生し、水素注入設備55から給水系50への水素の注入量を減少させる(ステップ303)。実効酸素濃度が5ppb以上と判断されると、実効酸素濃度が50ppb以上かどうかを判断し(ステップ304)実行酸素濃度が

50ppb以下と判断されると、バルブ36の開度を保持する電気信号を発生し、水素注入設備55からの水素の注入量を保持する(ステップ305)。原子炉底部の実効酸素濃度が50ppb以上と判断されると、バルブ36の開度を大きくする電気信号を発生し、水素注入設備55から給水系への水素の注入量を増大させる(ステップ306)。このようにして本実施例でも原子炉底部の実効酸素濃度が5ppb～50ppbの範囲内となるよう制御される。図13に示す相関は解析又は試験のいずれかによって求めてもよい。図13に示す相関を解析で求める場合、図6に示す原子炉底部水についての給水系水素濃度と炉内溶存酸素の平均値をとることにより求められる。また、試験により求める場合は、短期的な注入試験により、水素の注入量を給水系水素濃度が例えば0ppmから約2.4ppmまで段階的に変わるように変化させて、原子炉底部の実効酸素濃度を測定することで求められる。

【0037】本実施例によっても第1の実施例と同様の効果を得ることができる。また、本実施例によれば、給水系の水素濃度を直接的に制御するためより給水系濃度に対して安定な注入運転が期待できる。

【0038】本発明の第3実施例を図14を用いて説明する。本実施例は、第1の実施例において、炭素鋼材料の腐食を監視するものである。すなわち、図14において、O<sub>2</sub>モニター11には腐食モニター15が配管P28を介して接続されている。この腐食モニター15は炭素鋼材料の腐食率を測定し腐食速度を監視するものである。腐食モニター15としては例えば超音波計測計を用い、その検出信号を制御装置12に入力し、計測結果を知らしめる。腐食モニターとしては腐食試験片を侵漬し、その腐食状態を監視してもよい。これより炭素鋼の腐食防止に関してより信頼性の高い運転が可能である。

【0039】また、本実施例では、実効酸素濃度を5ppb以下にまで下げると炭素鋼の腐食速度は数百m/dmまで上昇することを考慮して、実際に炉底部に接続された配管や原子炉冷却材浄化系の炭素鋼材料を使用している配管機器の近傍で腐食を監視するものである。これにより、第1の実施例で述べたように、炉底部の実効酸素濃度が5ppb～15ppbの範囲内となるように制御する場合でも適切な腐食監視を行いながらプラント運転寿命期間中に腐食代が十分な余裕を持つことを確認しながら対応することができる。

【0040】

【発明の効果】本発明によれば、炉底部の実効酸素濃度を正確に制御できるので、適正な水素注入量によって炉底部の実効酸素濃度を適正に維持することが可能となる。したがって、CRDハウジングやICMハウジングなどの原子炉底部機器などの腐食環境を適正に緩和することが可能となる。このことにより、取替が困難な原子炉底部の機器材料の健全性を維持することができる。

【0041】また、原子炉再循環系や給水系統に設置している従来のサンプリングラインを使用可能であるため新たなサンプリングラインの設置は不要である。また、炉底部に接続したサンプリングラインに比べて沈降性クラッドが蓄積し線量率が上昇する可能性も少なく、システム、計器、等のメンテナンスが容易であり、さらにモニターの信頼性維持が可能である。

【0042】さらに、炉底部に接続された配管や原子炉冷却材浄化系の配管機器には炭素鋼材料を使用しているプラントの場合、実効酸素濃度の制御範囲を5ppb～50ppbとすることにより、原子炉底部SCCの抑制に加え、炭素鋼材料の腐食減肉を確実に防止もしくは抑制することが可能となった。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例の沸騰水型原子力発電プラントの概略図である。

【図2】本発明の第1実施例の動作フローチャートである。

【図3】第1実施例の原子炉再循環系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を示す図である。

【図4】原子炉内における実効酸素濃度の分布を示す図である。

【図5】原子炉内部の代表点における給水水素の濃度に対する実効酸素濃度の変化を示す図である。

【図6】解析から求められた給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を示す図である。

【図7】解析から求められた原子炉再循環系の実効酸素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を示す図である。

【図8】実効酸素濃度に対するSCC遅延速度相対比を

示す図である。

【図9】実効酸素濃度に対する炭素鋼の腐食率を示す図である。

【図10】水素注入量制御範囲の考え方を示す図である。

【図11】本発明の第2実施例の全体概略図である。

【図12】本発明の第2実施例の動作フローチャートである。

【図13】第2実施例の給水系の水素濃度と原子炉底部の実効酸素濃度との相関を示す図である。

【図14】本発明の第3実施例の全体概略図である。

#### 【符号の説明】

- 1 原子炉
- 2 タービン
- 3 復水浄化装置
- 4 A, 4 B 給水加熱器
- 5 A, 5 B 浄化系加熱器
- 6 濾過脱塩器
- 11 O<sub>2</sub>モニター
- 12 制御装置
- 13 水素供給源
- 14 H<sub>2</sub>モニター
- 15 腐食モニター
- 50 給水系
- 51 原子炉再循環系
- 52 原子炉冷却系
- 53 原子炉ボトムドレイン系
- 54 水素注入系
- 55 水素注入設備

Docket # GR95P3482  
Applic. # 09/050,651  
Applicant Muthewala, et al

Lerner and Greenberg, P.A.  
Post Office Box 2480  
Hollywood, FL 33022-2480  
Tel: (954) 925-1100 Fax: (954) 925-1101